

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN
ZWISCHEN SINUSTON- UND VERBOTONAL-AUDIOMETRIE

VON

VOLKER FLECKENSTEIN

1960

Aus der Universitäts-Hals-Nasen-Ohrenklinik
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Direktor: Professor Dr. K L E Y

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN
ZWISCHEN SINUSTON- UND VERBOTONAL-AUDIOMETRIE

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

VOLKER FLECKENSTEIN

aus Kaiserslautern

MAINZ 1968

Dekan: Professor Dr. Dr. Thews
Referent: Professor Dr. Biesalski
Korreferent: Professor Dr. Kley
Tag der mündlichen Prüfung: 11. Mai 1968



Gesamtherstellung: Ditters Bürodienst Mainz

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Geschichte der Audiometrie	1
II. Sinuston- und Sprachaudiometrie	3
III. Verbotal-Audiometrie	5
IV. Untersuchungen	7
a) Geräte	7
b) Probanden	8
c) Untersuchungsgang	10
V. Ergebnisse der Untersuchungen	11
a) Regressionsberechnungen	12
b) Korrelationsberechnungen	14
c) t-Test bei paarweiser Anordnung	16
d) χ^2 -Methode	19
VI. Zusammenfassung	27
VII. Literatur	28

I. GESCHICHTE DER AUDIOMETRIE

Die Anfänge der Audiometrie liegen heute schon fast 90 Jahre zurück. 1878 machten HARTMANN in Deutschland und BLYTH in England vergleichbare Versuche zur Bestimmung der Hörschwelle. HARTMANN benutzte als Schallquelle ein Telephon, dessen Intensität durch Widerstandsschaltungen meßbar verändert werden konnte.

In der Folgezeit wurden viele ähnliche Apparate von WODTKE (1878), PREYER (1879), HUGHES (1879), LACHARRIERE (1882), URBANTSCHITSCH (1882), GRADENIGO (1887), COZZOLINO (1887), SEASHORE (1899) und anderen gebaut. Die Bezeichnungen für diese Geräte waren unterschiedlich. Es wurden Namen gebraucht wie "Akumeter", "Sonometer" und "elektrischer Hörmesser". Die heute gebräuchliche Bezeichnung "Audiometer" ist wohl von RICHARDSON geprägt worden. Er arbeitete mit einem von HUGHES entwickelten Gerät und gebrauchte den Namen erstmals in einer Veröffentlichung von 1879.

Die Anfänge der Sprachaudiometrie liegen im Jahre 1889. Auf einem internationalen Kongreß in Paris forderte LICHTWITZ gleichwertige Wörterlisten in allen Sprachen, um mit dem EDISON'schen Phonographen allgemein vergleichbare Sprachprüfungen durchführen zu können.

Die Geräte der Anfangszeit unterschieden sich in ihrer Intensitätsregelung, der Reinheit der Töne und der Erzeugung der Töne selbst. SEASHORE benutzte 1899 zum ersten Male keine willkürliche Intensitätsregelung mehr, sondern führte eine logarithmisch gestufte Regulation ein. Töne von befriedigender Reinheit und ohne Oberschwingungen in den Frequenzen 200 - 1600 Hertz wurden von WIEN (1903) benutzt, der auch die ersten physikalisch exakten Hörschwellenmessungen durchführte.

Bei 1903 von BRÜNNINGS vorgenommenen Hörprüfungen wurden erstmals Schwingungen eines elektrischen Schwingungskreises über Kondensatorentladungen (WIEN) verwandt und nicht mehr die mechanischen Elemente wie Stimmgabel, Rotation usw. SCHAEFER und GRUSCHKE benutzten als Erste ein mit Elektronenröhren arbeitendes Gerät.

SCHWARZ baute die "elektrische Tonsirene Otaudion", die mit Unterbrechertaste, regelbarem Lärmtelephon zur Vertäubung des Gegenohres und pneumatischem Telephon (Otosklerometer) ausgerüstet war. Damit war es GRIESSMANN möglich, die Beweglichkeit der Gehörknöchelkette, insbesondere die

der Steigbügelplatte, quantitativ zu bestimmen. Er benutzte auch erstmals neben der Schallplatte einen magnetischen Stahldraht, um konservierte Sprache zur Hörprüfung zu verwenden. TIGLER, KAHLER und RUF entwickelten das Otaudion von SCHWARZ weiter, doch all diese Audiometer waren vornehmlich Einzelgeräte, die in der Hauptsache wissenschaftlichen Untersuchungen dienten.

Die ersten serienmäßigen Apparate wurden von der "Western Electric Company" in Amerika hergestellt. Mit Unterstützung von FLETCHER, FOWLER und WEGEL entstanden 1922 die 1 A - Audiometer, die mit logarithmischer Intensitätsregulierung ausgerüstet waren. Die Eichung erfolgte anfangs in Neper, später in Dezibel (dB). Das danach entwickelte 2 A - Audiometer hatte acht Töne in Oktavabstand, eine kontinuierliche Frequenzänderung war aber durch ein Zusatzgerät möglich.

Die heute übliche Audiogrammdarstellung wurde 1922 von FLETCHER und WEGEL eingeführt. Zur gleichen Zeit bestimmte WEGEL auch die normale Hör- und Schmerzswelle, und er erarbeitete zusammen mit LANE 1924 die Verdeckungsreflexe am 1 A - Audiometer. Kurven gleicher Lautheit, die das Hörfeld genauer definieren, nahm KINGSBURY 1927 auf. 1928 beschrieb FOWLER das Recruitment und 1929 führte FLETCHER mit einem 4 A - Audiometer der Western Electric Company und einem Grammophon die ersten sprachaudiometrischen Messungen mit Zahlen durch.

Von der MAICO wurde 1937 in Amerika mit dem D 5 - Audiometer das erste Gerät erbaut, das automatisch zu jeder gewählten Frequenz die "zero reference level", die normale Hörschwelle, als Bezugsgrenze lieferte. So stellte jeder Meßwert den Hörverlust in Dezibel direkt dar, ohne Umrechnung oder Benutzung einer Eichkurve. 1947 entwickelte BEKESY einen neuen Audiometer-Typ. Der Patient steuert den Prüftönen zwischen Hören und Nichthören selbst durch den ganzen Frequenzbereich und das Gerät übernimmt selbständig die Registrierung dieses pendelnden Prüftones. In diesem Jahr fand auch das Magnettonband, als Hilfe in der Sprachaudiometrie, Eingang in die Meßmethoden der Audiometrie (SCHUBERT). UBERINA entwickelte 1956 die Verbotonal-Audiometrie, eine Hörprüfmethode, die zwischen Sinuston- und Sprach-Audiometrie einzuordnen ist.

II. SINUSTON- UND SPRACH - AUDIOMETRIE

Die Sinuston-Audiometrie beruht auf einer Reihe von reinen Sinustönen, die in einem Audiometer erzeugt und meßbar in ihrer Intensität verändert werden können. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, das Hörvermögen eines gesunden oder kranken Ohres zu bestimmen.

Auf diese Weise können alle hörbaren Töne, von den tiefsten bis zu den höchsten Tönen verfolgt werden. Es ist dabei von diagnostisch untergeordneter Bedeutung, ob der Audiometer nur Einzeltöne in Oktavabständen einzustellen gestattet, oder eine kontinuierliche Toneinstellung über den ganzen hörbaren Frequenzbereich möglich ist. In der praktischen Audiometrie kann man immer nur die Prüfung einzelner Töne durchführen. Die Tonskala eines Audiometers umfaßt heute die Frequenzen von c (128 Hz) bis c^6 (8192 Hz) oder 11584 Hz in Oktavabständen. Oberhalb 1000 Hz finden sich meist noch Meßpunkte in Abständen von einer halben Oktave.

Die Lautstärkeregelung wird mit Hilfe von Widerstandsschaltungen durchgeführt, mit denen die als Schallgeber dienenden Wechselströme eingestellt werden. Zur Messung der Intensität der Gehörwahrnehmung wird eine logarithmische Einheit verwendet, da das Gehör zwischen der Hör- und Schmerzswelle einen Bereich von 12 Zehnerpotenzen in der Intensität, bzw. 6 Zehnerpotenzen im Schalldruck umfaßt. Da das Gehör andererseits selbst eine fast logarithmische Beziehung zwischen Reiz und Empfindung aufweist (WEBER - FECHNER - Gesetz: "Die Stärke der Empfindung wächst nicht wie die absolute Größe der Reize, sondern wie die Logarithmen der Reizgröße."), ist die logarithmische Darstellungsweise eine Notwendigkeit, um überschaubare Abmessungen zu erreichen. Die Einheit Neper, der natürliche Logarithmus zur Basis $e = 2,718$, die in der Akustik und Elektrotechnik ursprünglich angewandt wurde, ist durch die Einheit Dezibel, die auf der Grundlage des Zehner- oder Brigg-Logarithmus basiert ($\text{dB} = 10 \log \frac{N_2}{N_1}$), verdrängt worden.

Mit Hilfe der Sinuston-Audiometrie wird die Hörschwelle des Ohres für die jeweiligen Prüffrequenzen festgestellt. Man geht dabei so vor, daß man den Prüftönen durch Drehen eines Potentiometers so lange verstärkt oder abschwächt, bis der Proband gerade eben hört oder nicht mehr hört. So erhält man die Hörschwelle für diesen Ton. Zuerst wird die Schwelle für 1000 Hz gesucht, danach die der Töne unter 1000 Hz in absteigender und die der Töne über 1000 Hz in aufsteigender Reihenfolge.

Auf einer Skala kann die Intensität des gehörten Tones direkt in Dezibel (dB) abgelesen werden und auf einem graphischen Schema, dem Audiogramm, werden die gefundenen Schwellenwerte als Punkte eingetragen, wobei auf der Abszisse die Frequenz und auf der Ordinate die Intensität angegeben ist.

Verbindet man nun die erhaltenen Schwellenwerte, so erhält man die Hörschwellenkurve für das entsprechende Ohr. Diese absolute Hörschwellenkurve, WEGEL'sche Kurve, hat normalerweise eine parabolische Form. WEGEL und FLETCHER führten die relative Hörverlustdarstellung ein, wodurch diese parabolische Kurve eines Normalhörenden einen horizontalen Verlauf annimmt und somit zu einer Geraden wird, die als Null-Linie dargestellt wird. Die in dB angegebenen Hörverluste werden dabei unterhalb dieser Linie eingetragen.

Mit Hilfe der Sinuston-Audiometrie kann man verschiedene Arten von Hörprüfungen durchführen. Die Prüfung der Luftleitung geschieht mit Hilfe eines Hörers, der auf dem Ohr aufsitzt, die Prüfung der Knochenleitung durch einen auf den proc. mastoideus aufgesetzten Vibrator. Beide Kurven kann man aber nicht genau miteinander vergleichen, da die Qualität der beiden Hörer verschieden ist. Aus der Lage der beiden Kurven zueinander lassen sich verschiedene diagnostische Schlüsse ziehen. Der WEBER'sche Test, ebenso die Versuche nach BING und GELLÉ, lassen sich mit dieser Audiometrie durchführen. Die überschwellige Audiometrie, die das Verhalten der akustischen Rezeptoren bei verschiedenen Tonintensitäten aufdeckt, leistet große Hilfe bei der Differentialdiagnose von Schädigungen des nervösen Apparates.

Bei der Sprach-Audiometrie handelt es sich um die Prüfung des Sprachverständnisses, d. h. "das Verstehen von Worten zu messen, deren physikalische Intensitäten durch ein Audiometer bestimmt und eingestellt wird" (MONTANDON). Dies geschieht mit Hilfe von phonetisch ausgewogenen Wort- und Zahlenreihen, die unter besonderen Kriterien auf ein Magnettonband aufgesprochen wurden und dem Probanden über Kopfhörer dargeboten werden. Der Proband hört dann je eine Zahlen- oder Wörterreihe in einer bestimmten Intensität und wiederholt das Gehörte. Aus der Anzahl der richtig verstandenen und wiederholten Zahlen oder Wörter ergibt sich das prozentuale Wortverständnis für die jeweilige Intensität. Für die deutsche Sprache sind die Freiburger Zahlen- und Wörtertests nach HAHLBROCK und WEILAND die gebräuchlichsten.

Die Sprachverständniskurve erhält man, wenn die gefundenen Werte in ein Schema eingetragen werden, auf dessen Abszisse die dB-Werte, und auf dessen Ordinate die Prozentzahlen aufgetragen sind. Verbindet man die erhaltenen Werte eines Normalhörenden, so stellt sich die Normalkurve als ein S in Kursiv

dar. Diese Art der Darstellung wurde bereits von FLETCHER 1929 eingeführt, lediglich das Bezugssystem und die Ausgangsintensität wurden verschiedentlich geändert.

III. DIE VERBOTONAL - AUDIOMETRIE

Die Sinuston-Audiometrie bedient sich reiner Sinustöne, um damit die Hörschwelle des Ohres aufzufinden. Reine Sinustöne existieren aber in der Natur kaum und in der Sprache überhaupt nicht. So gestattet die Sinuston-Audiometrie nur eine allgemeine Diagnose über Perception und Reception.

In der Wort-Audiometrie werden phonetisch abgewogene Wortlisten benutzt, um die Hörschwelle für das Verständnis dieser Worte zu finden. Das bedeutet, daß man mit diesem Test den wirklichen Grad der Taubheit des Kranken bestimmen kann, wenn man annimmt, daß die Taubheit ein Versagen des Verständnisses ist.

Das Hören eines Sinustones und das Verstehen eines Wortes sind aber zwei physiologisch ganz verschiedene Vorgänge. Bei ersterem erfolgt nur eine Perception und Reception, während bei dem zweiten noch eine cerebrale Ergänzung erforderlich ist. Um diese beiden Vorgänge zu verbinden, d.h. einen Test zur Erkennung der Sprachschwelle zu finden, wurde von GUBERINA die Verbotonal-Audiometrie entwickelt.

Die Verbotonal-Audiometrie zur Ermittlung der Sprachschwelle beruht auf sinnlosen Logatomen, die aber phonetisch, in Beziehung zu ihren Frequenzbereichen, abgewogen sind. In der Tabelle 1 sind die für diese Untersuchung verwendeten Logatome zu finden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Aussprache dieser Silben in französischer Sprache erfolgt. Diese Logatome sind durch Filterung in ihrer Frequenzbreite beschnitten auf den in der Tabelle 1 ebenfalls angegebenen Bereich. Sie sind somit keine reinen Sinustöne mehr und der cerebralen Ergänzung, die das Wort fordert, weichen sie aus, da sie keinerlei Sinn haben.

Da die Verbotonal-Audiometrie also auf Tönen der menschlichen Sprache beruht, wird sich mit ihrer Hilfe die Empfindlichkeit des Ohres für Sprache besser prüfen lassen, als das für die Sinuston-Audiometrie zutrifft. Dabei ist es nach Untersuchungen von FELDTKELLER und ZWICKER ohne Einfluß auf die Lautstärke, ob die Schallintensität gleichmäßig über das Frequenzband einer Frequenzgruppe verteilt wird, oder ob sie in einem schmalen Teilband konzen-

triert bleibt. Die beiden Autoren haben auch nachgewiesen, daß eine Aufteilung in Frequenzgruppen physiologisch richtiger ist, als die Aufteilung in Oktaven.

In Versuchen ermittelten sie, "daß das Gehör bei einem Geräusch mit Hilfe der Schall-Leitung, die in einem Frequenzband ganz bestimmter Breite das Ohr trifft, die Hörschwelle bildet, also aus den vielen Frequenzen, die im Rauschen enthalten sind, eine Frequenzgruppe bildet". Sie kommen zu der Annahme, daß solche Frequenzgruppen an jeder Stelle des Corti-Organ gebildet werden können, weil die Sinneszellen die Möglichkeit haben, sich auf eine bestimmte Länge miteinander zu koppeln. Weiterhin fanden sie, daß bei einem gleichzeitigen Darbieten mehrerer Prüftöne mit den Frequenzen f , $f - f$, $f - 2f$ usw., der Schalldruckpegel des einzelnen Prüftones an der Schwelle des gemeinsamen Klages immer weiter absinkt.

Die von GUBERINA entwickelten Tests sind sehr vielseitig. Bei allen geht er von menschlichen oder tierischen Lauten aus, nicht von physikalisch reinen Tönen. Sie sind in drei große Gruppen aufgeteilt:

1. Bestimmung der Hörschwelle ("détection") mit gefilterten und ungefilterten Logatomen
2. Identifizierung von Tönen der menschlichen Sprache ("distinction") durch gefilterte und ungefilterte Vokale
3. Verständlichkeitsmessungen ("intelligibilité") mit phonetisch ausgewogenen Wörtern, die ebenfalls filtriert und unfiltriert angeboten werden.

Diese Tests sind wieder für einzelne Personengruppen ausgearbeitet worden (Erwachsene, die nicht von Geburt an schwerhörig sind, Kinder, die vor ihrem Hörverlust schon sprachen, Kinder, die von Geburt an schwerhörig sind).

Bei den Untersuchungen zur Bestimmung der Hörschwelle wurden gefilterte Logatome verwandt, um ein nicht meßbares Überschneiden der verschiedenen Frequenzbereiche, wie es bei den Tests mit ungefilterten Logatomen der Fall ist, zu vermeiden.

IV. UNTERSUCHUNGEN

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die Sinuston-Audiometrie mit der Verbotal-Audiometrie zu vergleichen und ihre gegenseitigen Beziehungen zueinander zu untersuchen. Es ist nicht der Sinn dieser Arbeit, die Grundlagen der Verbotal-Audiometrie zu beurteilen, sondern ihre Stellung zu der Sinuston-Audiometrie darzulegen. Dadurch soll es ermöglicht werden, beide Audiogramme nebeneinander zu verwenden und ihre Gemeinsamkeit und Gegensätzlichkeit zu erkennen.

a) Geräte

Die Untersuchungen wurden mit handelsüblichen Geräten durchgeführt, d. h., es wurden keine speziell angefertigten Apparate verwendet. Dadurch ist es möglich, die Ergebnisse auch auf anderen Anlagen, die entsprechend geeicht sind, zu reproduzieren. Bei den Messungen wurde die relative Hörverlustdarstellung in dB-Werten benutzt (FLETCHER u. WEGEL). Die normale Hörschwelle bildet also eine Gerade, auf der an jedem Punkte ein anderer Schalldruck herrscht. Dadurch kann der individuelle Hörverlust, ohne jede Umrechnung, direkt am Audiometer abgelesen werden.

Die Audiogramme mit Kopfhörer wurden teils an der PHONAK Großaudiometrie-Anlage mit ELIT Audiometer 813 gemacht, teils an dem tragbaren ELIT Audiometer 805 mit spezialangepaßtem Tonbandgerät GRUNDIG TK 41.

Die Messungen im freien Schallfeld wurden mittels der PHONAK Großaudiometrie-Anlage mit ELIT Audiometer 813, verbunden mit der PHONAK Kinderaudiometrie-Anlage nach BIESALSKI, durchgeführt. Dadurch war es möglich, je nach Eigenart und Reaktion der Probanden, die Hörschwelle mittels des COR-Orientierungsreflexes, der Peepshow-Methode oder der Spielaudiometrie zu ermitteln.

Das für die Verbotal-Audiometrie notwendige Tonband wurde freundlicherweise von dem Centre de Phonétique Appliquée⁺ zur Verfügung gestellt. Die Logatome wurden von derselben Person auf Band gesprochen, von der auch die anderen Bänder stammen, die in verschiedenen Instituten und Schulen verwendet werden. Die filtrierte Logatome sind in der aus Tabelle 1 ersichtlichen

+

Centre de Phonétique Appliquée, Paris, Place des Voges (4^E)

Reihenfolge (von oben nach unten) auf das Magnettonband aufgesprochen und zwar jedes Logatom jeweils 15 mal in Abständen von 2 bis 3 Sekunden.

Tabelle 1

Frequenzbänder mit Logatomen

	Logatom	Frequenzbreite		
2 A	moumou	75	-	150 Hz
3 A	moumou	150	-	300 Hz
4 A	boubou	300	-	600 Hz
5 A	lala	600	-	1200 Hz
6 A	kiki	1200	-	2400 Hz
7 A	chichi	2400	-	4800 Hz
8 A	sisi	4800	-	9600 Hz
8 B	sisi	6400	-	12800 Hz

Da bei Vorversuchen mit normalhörenden 18 - 25-jährigen Probanden die Hörschwellenkurven, die mit Hilfe der gefilterten Logatome ermittelt wurden, weder an dem ELIT Audiometer 805 noch an der PHONAK Großaudiometrie-Anlage mit ELIT Audiometer 813 Geraden darstellen, war es notwendig, eine Eichung durchzuführen. Mittels eines Kupplers (fälschlich als künstliches Ohr bezeichnet) wurde sie vorgenommen⁺ und somit die absolute Hörverlustdarstellung der Verbotoal-Audiometrie direkt vergleichbar mit der Sinuston-Audiometrie.

b) Probanden

Die Untersuchungen wurden in der Hals-Nasen- und Ohrenklinik der Universität Mainz, Abteilung für Hör- und Spracherziehung, durchgeführt. Die Probanden waren teils in stationärer, teils in ambulanter Behandlung. Es wurden in der Hauptsache Kinder untersucht, daneben auch Erwachsene (Tabelle 2 und 3). Die Anzahl der Kinder überwiegt, da es gerade bei ihnen dringend notwendig ist, jede Möglichkeit zur Vervollständigung der Diagnostik wahrzunehmen.

+

Deutsche PHONAK Gesellschaft, Sapper & Co., Stuttgart

Tabelle 2

Altersverteilung - Kopfhörer Audiogramme

Altersgruppe	Anzahl
4 - 5 Jahre	1
5 - 6 Jahre	5
6 - 7 Jahre	17
7 - 8 Jahre	5
8 - 9 Jahre	4
9 - 10 Jahre	2
10 - 20 Jahre	9
20 Jahre u. ä.	7

Tabelle 3

Altersverteilung - Audiogramme im freien Schallfeld

Altersgruppe	Anzahl
2 - 3 Jahre	3
3 - 4 Jahre	10
4 - 5 Jahre	9
5 - 6 Jahre	8
6 - 7 Jahre	2
7 - 8 Jahre	2

Die Ursachen der Hörstörungen waren sehr vielfältig, und es wurde darauf verzichtet, spezielle Krankheitsursachen gesondert zu untersuchen. Auch wurde keine Trennung zwischen leichteren und schwereren Fällen gemacht, lediglich bei den normal Hörenden war es erforderlich, im Sinne einer exakten Berechnung, diese getrennt zu behandeln.

Die wesentlichen Ursachen der Hörstörungen seien hier kurz in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit aufgezählt:

Innenohr-Schwerhörigkeit, Schall-Leitungsstörungen, Taubstummheit, Altersschwerhörigkeit, Geburtstrauma, Aphasie und Jodman-gel-Schwerhörigkeits-Syndrom.

Die Registrierung der Sinuston-Werte erfolgte auf dem Atlas-Audiogramm Formular EM 40 - 209, die der Verbotal-Werte auf der Rückseite in einer der dem Atlas-Audiogramm entsprechenden Aufteilung (Abbildung 1). Dadurch ist es möglich, die Audiogramme ohne Verzerrungen vom optischen Anblick her zu beurteilen und Gemeinsamkeiten und Differenzen zu erkennen.

Bei den stationär behandelten Kindern wurden die Audiogramme an verschiedenen Tagen gemacht. Bei ihnen war es auch möglich, die Reproduzierbarkeit der Audiogramme zu überprüfen. Sie lag im Durchschnitt in der von HALHBROCK, FELDTKELLER und ZWICKER und LAUX ermittelten Abweichungen von ± 5 dB. Auch bei den ambulanten Probanden war es zum Teil möglich, die Audiogramme an verschiedenen Tagen zu ermitteln, zum Teil mußten jedoch beide Audiogramme an einem Tag gemacht werden. Um eine zu starke Fehlerbreite durch Übermüdung bei der überwiegend aus Kindern zwischen 2 und 8 Jahren bestehenden Probandengruppe zu vermeiden, wurde das 2. Audiogramm am Nachmittag aufgenommen. Nach einem Mittagsschlaf war das Reaktionsvermögen wieder soweit normal, daß die Audiogramme verwertet werden konnten.

V. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

Die Audiogramme der Sinuston- und Verbotal-Audiometrie, die durch den in Abschnitt III angegebenen Versuchsverlauf ermittelt wurden, werden in den folgenden Abschnitten mit Hilfe statistischer Methoden verglichen.

Bei den Hörprüfungen mit diesen beiden Methoden zeigte sich ein unterschiedliches Verhalten der Audiogramm-Kurven.

Es werden bei den Berechnungen nicht das Sinuston- und das Verbotal-Audiogramm eines Probanden verglichen, sondern das Verhalten aller Probanden bei den beiden Hörprüfungen in einem Frequenzbereich untersucht. In Tabelle 4 sind den Sinuston-Frequenzen die ihnen entsprechenden Verbotal-Frequenzen gegenübergestellt.

Tabelle 4

Sinuston-Frequenzen und Verbotonal-Frequenzbänder

Sinuston	Verbotonal	
125 Hz	75 -	150 Hz
250 Hz	150 -	300 Hz
500 Hz	300 -	600 Hz
1000 Hz	600 -	1200 Hz
1500 Hz	1200 -	2400 Hz
3000 Hz	2400 -	4800 Hz
6000 Hz	4800 -	9600 Hz
8000 Hz	9600 -	12800 Hz

In den weiteren Ausführungen wird, aus Gründen der Übersichtlichkeit, nur noch die Sinuston-Hertz-Zahl angegeben.

a) Regressionsanalyse

Trägt man die erhaltenen Audiometrie-Werte in ein Koordinatensystem ein (Abb. 2 - 16), wobei auf der Abszisse der Hörverlust in Dezibel der Sinuston-Audiometrie, auf der Ordinate der der Verbotonal-Audiometrie aufgetragen wird, so zeigt sich, daß man die Beziehung befriedigend linear approximieren kann.

Zur Überprüfung dieser Vermutung dient die Regressionsanalyse. Bei den folgenden Berechnungen wurde zweckmäßigerweise x als Parameter und y als die davon abhängige Variable aufgefaßt, es wird also die Regressionsgerade

$$y_R = bx + a$$

geschätzt.

Durch Berechnung der Größen

$$s_{xy} = \sum xy - \frac{1}{n} (\sum x) (\sum y)$$

und

$$s_{xx} = \sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2$$

erhält man den Regressionskoeffizienten

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}.$$

Durch Berechnung der Größen

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y$$

und

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x$$

erhält man

$$a = \bar{y} - b\bar{x}.$$

Tabelle 5

Regressionslinien von Kopfhörer-Audiogrammen von Schwerhörigen

125 Hz	y_R	=	0,8621 x	-	0,2477
250 Hz	y_R	=	0,8983 x	+	1,1343
500 Hz	y_R	=	0,8804 x	+	1,9717
1000 Hz	y_R	=	0,9136 x	-	5,2923
1500 Hz	y_R	=	0,8190 x	+	2,5950
3000 Hz	y_R	=	0,6954 x	+	13,6328
6000 Hz	y_R	=	0,7366 x	+	10,7180
8000 Hz	y_R	=	0,4838 x	+	30,1670

Tabelle 6

Regressionslinien von Kopfhörer-Audiogrammen von normal Hörenden

125 Hz	y_R	=	0,1300 x	+	2,7500
250 Hz	y_R	=	0,3700 x	+	0,7000
500 Hz	y_R	=	0,2500 x	+	5,6900
1000 Hz	y_R	=	-0,6600 x	+	24,8800
1500 Hz	y_R	=	1,1200 x	-	5,3700
3000 Hz	y_R	=	0,6300 x	+	0,4800
6000 Hz	y_R	=	0,8100 x	-	4,0500
8000 Hz	y_R	=	0,7500 x	-	4,8800

Die Regressionslinien, deren Gleichung in den Tabellen 5 und 7 angegeben ist, wurden in den Abbildungen 2 - 16 graphisch dargestellt.

In den Abbildungen 2 - 9 wurden die Werte von normal Hörenden in roter Farbe eingetragen, die errechneten Regressionslinien sind nicht eingetragen.

Tabelle 7

Regressionslinien für Audiogramme im freien Schallfeld

125 Hz	y_R	=	0,9831	-	9,6912
250 Hz	y_R	=	0,8057	+	5,7067
500 Hz	y_R	=	0,8496	+	4,5320
1000 Hz	y_R	=	0,7974	+	8,3457
1500 Hz	y_R	=	0,8196	+	6,1416
3000 Hz	y_R	=	0,8247	-	0,4040
6000 Hz	y_R	=	0,6513	+	10,8153

Das Bestimmtheitsmaß, eine Größe, die angibt, wie stark die einzelnen Werte um die Regressionslinie streuen, wurde nicht bestimmt. Dafür wurde im folgenden Kapitel der Korrelationskoeffizient geschätzt, der als Maß für die lineare Abhängigkeit zweier zufälliger Variabler gilt.

b) Korrelationsanalyse

Mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten wird geprüft, wie sich die zufälligen Variablen x und y, Sinuston-Wert und entsprechender Verbotal-Wert, zueinander verhalten.

Aus der Formel:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{1}{n} (\sum x) (\sum y)}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2 \right] \left[\sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2 \right]}}$$

kann man den Korrelationskoeffizienten schätzen. Er kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Für $r = 0$ sind die beiden Zufallsvariablen unabhängig. Bei positivem r weist die Regressionsgerade eine positive Steigung auf, bei negativem r eine negative Steigung. Zwischen 0 und ± 1 besteht zwischen x und y, Sinuston- und Verbotal-Wert, eine stochastische Abhängigkeit. Für $r = \pm 1$ ist die Abhängigkeit der Zufallsvariablen streng linear.

Die für r ermittelten Werte sind in den Tabellen 8, 9 und 10 dargestellt. Dabei zeigt sich, daß eine Abhängigkeit zwischen den beiden Audiogrammen besteht. Die berechneten Korrelationskoeffizienten liegen für alle Frequenzbereiche der Kopfhörer-Audiogramme von Schwerhörigen und der Audiogramme, die mittels des freien Schallfeldes ermittelt wurden, über den Tafelwerten, die für die statistische Sicherung der Korrelation notwendig sind.

Tabelle 8

Korrelationskoeffizient für Kopfhörer-Audiogramme von Schwerhörigen

Hertz	n	r	P
125	68	0,8604	1%
250	86	0,9230	1%
500	87	0,9142	1%
1000	82	0,8527	1%
1500	73	0,8008	1%
3000	60	0,7091	1%
6000	49	0,5548	1%
8000	35	0,2725	n. s.

Tabelle 9

Korrelationskoeffizient für Kopfhörer-Audiogramme von normal Hörenden

Hertz	n	r	P
125	13	0,1800	n. s.
250	13	0,3800	n. s.
500	9	0,3900	n. s.
1000	5	0,4000	n. s.
1500	7	0,7500	5%
3000	11	0,9400	1%
6000	13	0,9600	1%
8000	11	0,9600	1%

Tabelle 10

Korrelationskoeffizient für Audiogramme im freien Schallfeld

Hertz	n	r	P
125	34	0,8858	1%
250	34	0,8844	1%
500	34	0,9226	1%
1000	34	0,9065	1%
1500	32	0,8500	1%
3000	28	0,9287	1%
6000	20	0,8266	1%

Hertz = Frequenz

n = Anzahl der Audiogrammwert-Paare

r = Korrelationskoeffizient

P = Irrtumswahrscheinlichkeit

n. s. = nicht signifikant

Die Werte bei den normal Hörenden (Tabelle 9) sind in den Frequenzgruppen 125, 250, 500 und 1000 Hertz nicht signifikant und lassen keine Schlüsse zu. Der Wert bei 1500 Hz in Tabelle 9 ist auffällig, aber nicht signifikant.

Diese Abweichung von den anderen Ergebnissen rührt vor allem von der geringeren Fallzahl her.

Aus diesen Ergebnissen läßt sich mit großer Sicherheit auf eine enge Beziehung zwischen der Sinuston- und der Verbotal-Audiometrie schließen.

c) t-Test bei paarweiser Anordnung

Hierbei handelt es sich um ein Prüfverfahren, das nachprüft, ob x und y, Verbotal-Audiogrammwerte und Sinuston-Audiogrammwerte, jeweils aus Verteilungen mit dem gleichen Mittelwert stammen. Gleichzeitig wird, für jede Frequenzgruppe, der mittlere Unterschied zwischen Verbotal- und Sinuston-Wert in Dezibel ermittelt.

Durch Berechnung der Größen

$$d = y - x$$

und

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum d$$

erhält man

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \left[\sum d^2 - \frac{1}{n} (\sum d)^2 \right]}$$

Die Testgröße t wird errechnet durch:

$$t = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}}$$

Übersteigt dieser berechnete Wert von t den theoretischen Tafelwert bei f Freiheitsgraden und einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit P , so sprechen wir von einem statistisch signifikanten Ergebnis. Das bedeutet im vorliegenden Fall, daß sich die Mittelwerte des Audiogramms bei Sinuston- und Verbotal-Audiometrie gesichert unterscheiden. Da die Mittelwerte der Verbotal-Audiometrie im Durchschnitt niedriger liegen, können wir beim Test von einer einseitigen Fragestellung ausgehen.

Tabelle 11

t -Test bei paarweiser Anordnung für Kopfhörer-Audiogramme bei Schwerhörigen

					+)
Hertz	n	d	t	P	
125	68	8,3088	7,3140	1%	
250	86	8,1977	9,8648	1%	
500	87	7,1839	7,5135	1%	
1000	82	12,8049	10,9265	1%	
1500	73	12,8767	9,7036	1%	
3000	60	11,1667	7,0315	1%	
6000	49	10,9184	6,6333	1%	
8000	35	11,5714	4,4505	1%	

+) Erkl. s. nächste Seite

In den Tabellen 11 bis 13 bedeutet:

Hertz = Frequenz

n = Anzahl der Audiogrammwert-Paare

$\bar{d}$ = Mittlerer Unterschied zwischen Sinuston- und Verbotonalwert
gemessen in Dezibel

t = Testgröße

P = Irrtumswahrscheinlichkeit

Tabelle 12

t-Test bei paarweiser Anordnung für Kopfhörer-Audiogramme von normal Hörenden

Hertz	n	$\bar{d}$	t	P <
125	13	10,0000	5,3676	1%
250	13	8,1818	5,2854	1%
500	9	5,5556	3,5915	1%
1000	5	5,0000	1,8255	n. s.
1500	7	3,5714	1,6982	n. s.
3000	11	5,9091	3,1348	1%
6000	13	8,0769	7,5839	1%
8000	11	11,8182	7,6345	1%

Tabelle 13

t-Test bei paarweiser Anordnung für Audiogramme des freien Schallfeldes

Hertz	n	$\bar{d}$	t	P <
125	34	10,0000	10,5200	1%
250	34	8,3824	7,6800	1%
500	34	7,5000	7,2100	1%
1000	34	9,7059	7,5800	1%
1500	32	9,8438	6,1100	1%
3000	28	15,1786	12,1400	1%
6000	20	15,2500	9,0700	1%

Hiermit ist gezeigt, daß das Verbotal-Audiogramm um den jeweiligen Wert von $\bar{d}$ niedriger liegt als das Sinuston-Audiogramm.

Der durchschnittliche Wert, um den das Verbotal-Audiogramm niedriger angegeben wird, liegt bei den Kopfhörer-Audiogrammen von Schwerhörigen bei 10,38 dB, bei den Audiogrammen des freien Schallfeldes bei 10,82 dB. Der Wert für Kopfhörer-Audiogramme bei normal Hörenden ist mit 8,26 dB niedriger als die beiden anderen Werte, was aber wohl auf die geringere Fallzahl zurückzuführen ist. Wie aus der Tabelle 12 zu ersehen ist, sind auch die Werte für die Frequenzen 1000 und 1500 Hz als statistisch nicht gesichert zu betrachten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit für die anderen Werte liegt bei unter 1%, d.h., daß diese Werte für $\bar{d}$ als statistisch signifikant betrachtet werden können.

d) χ^2 -Methode

Beim Vergleich der beiden Audiogramme zeigte sich, daß bei einer Reihe von Probanden im Verbotal-Audiogramm noch eine Reaktion auf eine höhere Prüffrequenz erfolgte, die nach dem Sinuston-Audiogramm als nicht mehr gehört betrachtet werden mußte. In den Tabellen 14 und 15 ist die Zahl der gemessenen Sinuston-Werte, denen der Verbotal-Audiometrie gegenübergestellt.

Tabelle 14

Kopfhörer-Audiogramme von Schwerhörigen

Frequenzbereich	Sinuston	Verbotal
1000 Hz	82	87
1500 Hz	73	80
3000 Hz	60	74
6000 Hz	49	65
8000 Hz	35	57

Tabelle 15

Audiogramme des freien Schallfeldes

Frequenzbereich	Sinuston	Verbotal
1500 Hz	32	33
3000 Hz	28	32
6000 Hz	20	28

Die Hypothese, ob mittels der Verbotonal-Audiometrie noch Hörbereiche erfaßt werden, die durch die Sinuston-Audiometrie nicht mehr ermittelt werden können, wurde mit Hilfe der χ^2 -Methode untersucht. Es wurden nur die Werte der Schwerhörigen-Audiogramme getestet, da die Ergebnisse der Audiogramme des freien Schallfeldes auf Grund der geringeren Fallzahl keine verwertbaren Resultate erwarten lassen.

Die Ergebnisse werden übersichtlich in der Form einer sogenannten Kontingenztafel dargestellt (Abbildung 17) (Pfanzagl).

Abbildung 17

Kontingenztafel

2. Merkmal 1. Merkmal	1	2	Σ
1	n_{11}	n_{12}	$n_{1.}$
2	n_{21}	n_{22}	$n_{2.}$
Σ	$n_{.1}$	$n_{.2}$	n

Zur Berechnung wurde die Formel für die Vierfeldertafel

$$\chi^2 = \frac{n \cdot (n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21})^2}{n_{1.} \cdot n_{2.} \cdot n_{.1} \cdot n_{.2}}$$

benutzt, da beide Merkmale nur je zwei Ausprägungen aufweisen.

Die Anzahl der Freiheitsgrade ist

$$(2 - 1) \cdot (2 - 1) = 1$$

Der Tafelwert von χ^2 bei $f = 1$ und $P = 0,01$ liegt bei 6,635, für $f = 1$ und $P = 0,05$ bei 3,841.

In den Tabellen 16 - 20 und 21 - 25 sind neben den Beobachtungswerten (n_{11} , n_{12} , n_{21} und n_{22}) noch die Erwartungswerte e und χ^2 eingetragen.

Die Erwartungswerte stehen links oben, die Differenz e - Beobachtungswert rechts unten.

Tabelle 16

Aufgliederung nach Prüfmethode und Reaktionshäufigkeit bei 1000 Hz

Prüfmethode Reaktion	Verbotonal	Sinuston	Σ
ja	84,500 87 + 2,500	84,500 82 - 2,50	169
nein	2,500 0 - 2,500	2,500 5 + 2,500	5
Σ	87	87	174

Tabelle 17

Aufgliederung nach Prüfmethode und Reaktionshäufigkeit bei 1500 Hz

Prüfmethode Reaktion	Verbotonal	Sinuston	Σ
ja	76,500 80 + 3,500	76,500 73 - 3,500	153
nein	10,500 7 - 3,500	10,500 14 + 3,500	21
Σ	87	87	174

Tabelle 18

Aufgliederung nach Prüfmethode und Reaktionshäufigkeit bei 3000 Hz

Prüfmethode Reaktion	Verbotonal	Sinuston	Σ
ja	67,000 74 + 7,000	67,000 60 - 7,000	134
nein	20,000 13 - 7,000	20,000 27 + 7,000	40
Σ	87	87	174

Tabelle 19

Aufgliederung nach Prüfmethode und Reaktionshäufigkeit bei 6000 Hz

Prüfmethode Reaktion	Verbotonal	Sinuston	Σ
ja	57,000 65 + 8,000	57,000 49 - 8,000	114
nein	30,000 22 - 8,000	30,000 38 + 8,000	60
Σ	87	87	174

Tabelle 20

Aufgliederung nach Prüfmethode und Reaktionshäufigkeit bei 8000 Hz

Prüfmethode Reaktion	Verbotonal	Sinuston	Σ
ja	46,000 57 + 11,000	46,000 35 - 11,000	92
nein	41,000 30 - 11,000	41,000 52 + 11,000	82
Σ	87	87	174

Für χ^2 ergaben sich daraus folgende Werte:

1000 Hz: $\chi^2 = 5,148$

Irrtumswahrscheinlichkeit: <5%

1500 Hz: $\chi^2 = 2,654$

n. s.

3000 Hz: $\chi^2 = 6,362$

<5%

6000 Hz: $\chi^2 = 6,510$

<5%

8000 Hz: $\chi^2 = 11,162$

<1%

Die Werte von χ^2 zeigen, daß die Reaktionshäufigkeit eine Abhängigkeit von der Prüfmethode bei den Frequenzen 1000, 3000, 6000 und 8000 Hertz zeigt.

Bei den Frequenzen 1000, 3000 und 6000 Hz ist es statistisch auffällig, bei 8000 Hz signifikant, daß mit der Verbotonal-Audiometrie Hörbereiche erfaßt werden, die nach der Sinuston-Audiometrie als nicht mehr vorhanden betrachtet werden können.

In den Abbildungen 5 - 9 sind für Kopfhörer-Audiogramme von Schwerhörigen, in den Abbildungen 14 - 16 für Audiogramme des freien Schallfeldes die Verbotonal-Werte ohne entsprechende Sinuston-Werte in Form von Pfeilen am rechten Rand eingetragen. Mit Hilfe des χ^2 -Tests wird nun untersucht, ob eine Abhängigkeit des Hörens von Sinustönen und dem Grad des Hörverlustes, gemessen nach der verbotonalen Methode, besteht.

Tabelle 21

Aufgliederung nach dem Hörverlust, gemessen nach der Verbotal-Audiometrie und den Reaktionen im Sinuston-Audiogramm bei 1000 Hz

Hörverlust Reaktion	80 dB	80 dB und mehr	Σ
ja	40,529 43 + 2,471	41,471 39 - 2,471	82
nein	2,471 0 - 2,471	2,529 5 + 2,471	5
Σ	43	44	87

Tabelle 22

Aufgliederung nach dem Hörverlust, gemessen nach der Verbotal-Audiometrie und den Reaktionen im Sinuston-Audiogramm bei 1500 Hz

Hörverlust Reaktion	80 dB	80 dB und mehr	Σ
ja	37,413 41 + 3,587	35,588 32 - 3,588	73
nein	3,588 0 - 3,588	3,413 7 + 3,587	7
Σ	41	39	80

Tabelle 23

Aufgliederung nach dem Hörverlust, gemessen nach der Verbotoanal-Audiometrie und den Reaktionen im Sinuston-Audiogramm bei 3000 Hz

Hörverlust Reaktion	80 dB	80 dB und mehr	Σ
ja	30,811 35 + 4,189	29,189 25 - 4,189	60
nein	7,189 3 - 4,189	6,811 11 + 4,189	14
Σ	38	36	74

Tabelle 24

Aufgliederung nach dem Hörverlust, gemessen nach der Verbotoanal-Audiometrie und den Reaktionen im Sinuston-Audiogramm bei 6000 Hz

Hörverlust Reaktion	80 dB	80 dB und mehr	Σ
ja	26,385 31 + 4,615	22,615 18 - 4,615	49
nein	8,615 4 - 4,615	7,385 12 + 4,615	16
Σ	35	30	65

Tabelle 25

Aufgliederung nach dem Hörverlust, gemessen nach der Verbotonal-Audiometrie und den Reaktionen im Sinuston-Audiogramm bei 8000 Hz

Hörverlust Reaktion	80 dB	80 dB und mehr	Σ
ja	22,719 25 + 2,281	12,281 10 - 2,281	35
nein	14,281 12 - 2,281	7,719 10 + 2,281	22
Σ	37	20	57

Bei den verschiedenen Frequenzen ergaben sich für χ^2 folgende Werte (Tab. 21 - 25) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit P von 1 bzw. 5%:

1000 Hz: $\chi^2 = 5,184$	$P < 5\%$
1500 Hz: $\chi^2 = 8,064$	$P < 1\%$
3000 Hz: $\chi^2 = 6,188$	$P < 5\%$
6000 Hz: $\chi^2 = 7,105$	$P < 1\%$
8000 Hz: $\chi^2 = 1,691$	n. s.

Der Tafelwert von χ^2 bei $f = 1$ und $P = 0,01$ liegt bei 6,635, der Tafelwert bei $f = 1$ und $P = 0,05$ beträgt 3,841.

Die Ergebnisse bestätigen, daß das Hören von Sinustönen bei den Frequenzgruppen 1000, 1500, 3000 und 6000 Hz eine Abhängigkeit zeigt von dem Grad des Hörverlustes, gemessen nach der Verbotonalen Methode.

Die Ergebnisse dieses Tests lassen für den Frequenzbereich von 1000 Hz bis 6000 Hz erwarten, daß mittels der verbotonalen Methode mehr Ergebnisse erhalten werden als mit der Sinuston-Audiometrie, vorausgesetzt, daß der mit ihr gemessene Hörverlust 80 dB übersteigt.

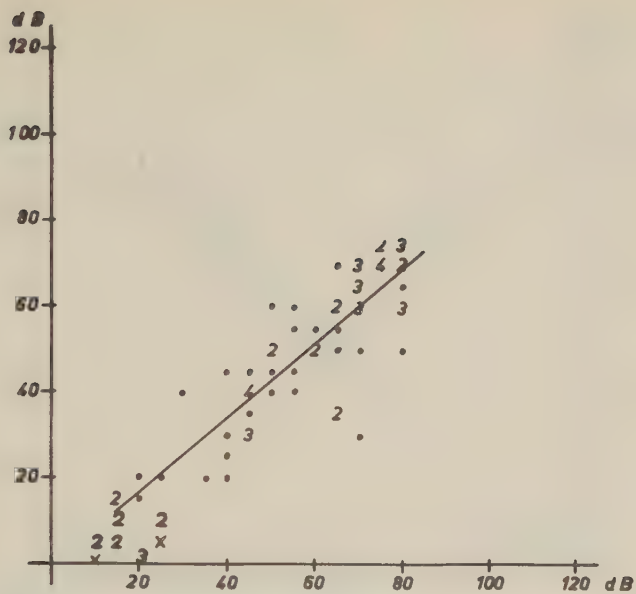


Abb. 2 125 Hz - Kopfhörer

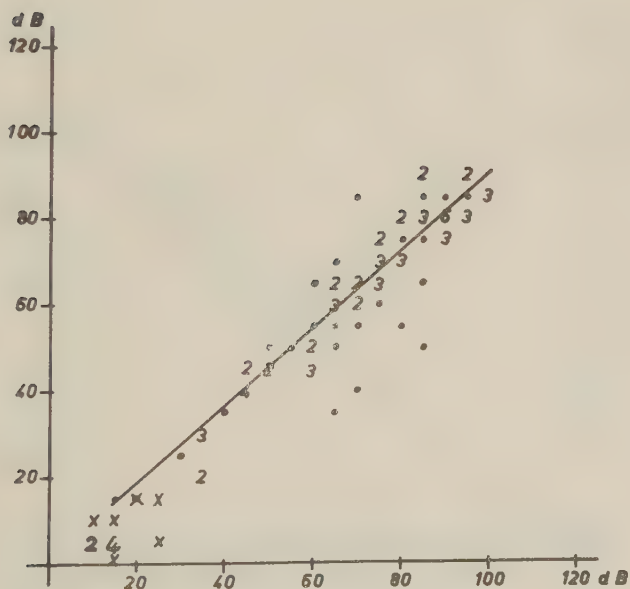


Abb. 3 250 Hz - Kopfhörer

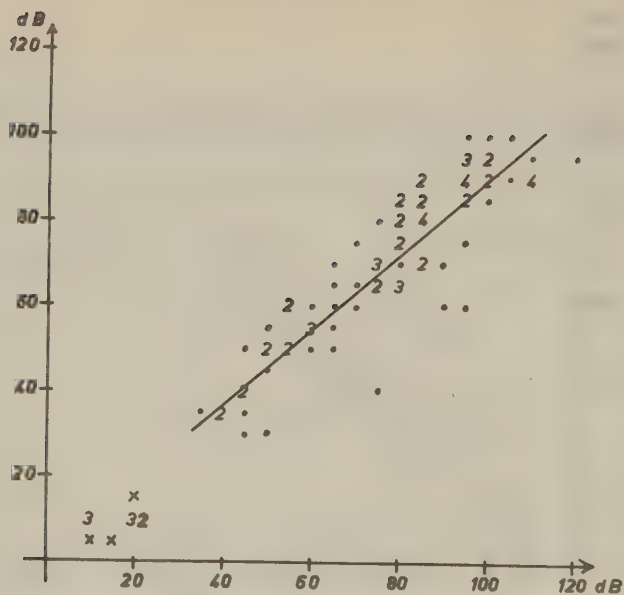


Abb. 4 500 Hz - Kopfhörer

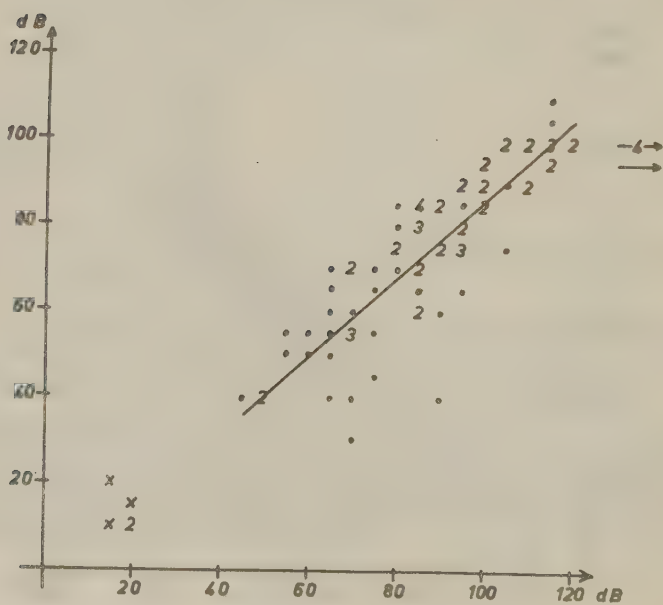


Abb. 5 1000 Hz - Kopfhörer

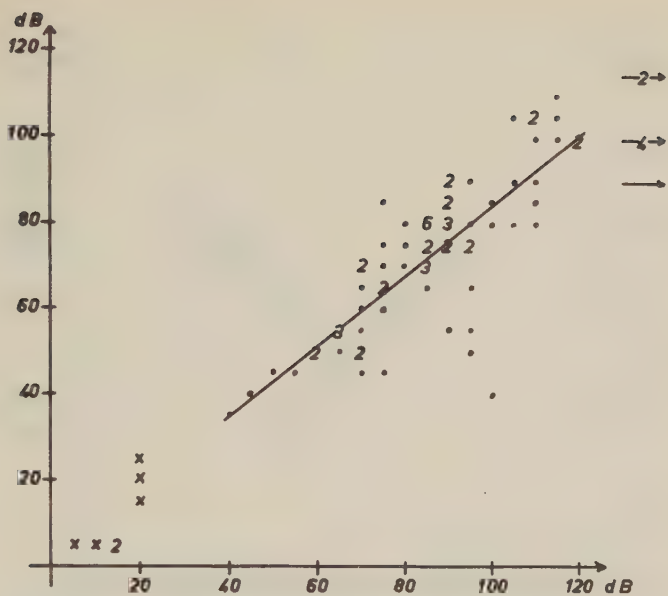


Abb. 6 1500 Hz - Kopfhörer

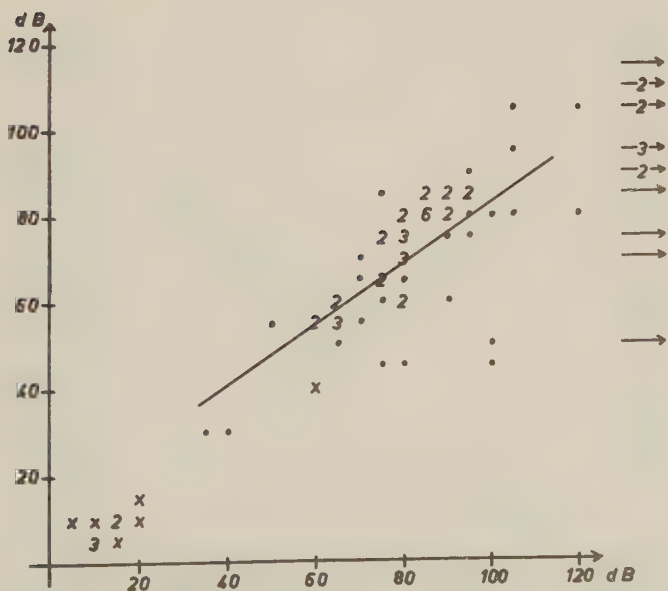


Abb. 7 3000 Hz - Kopfhörer

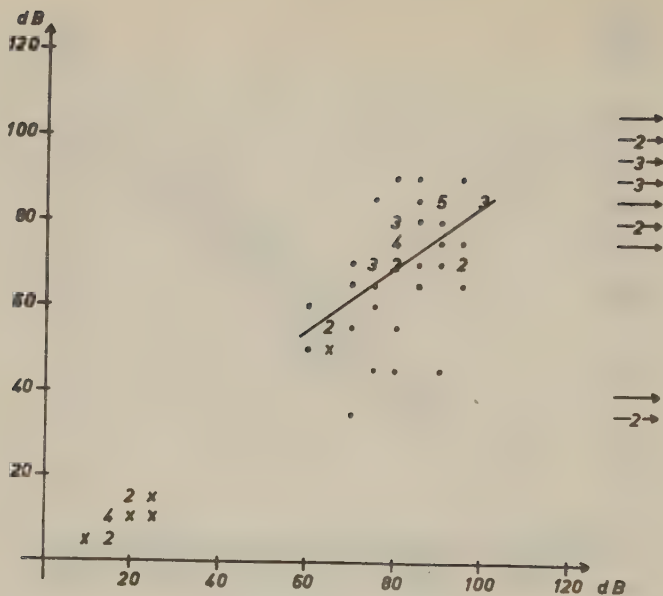


Abb. 8 6000 Hz - Kopfhörer

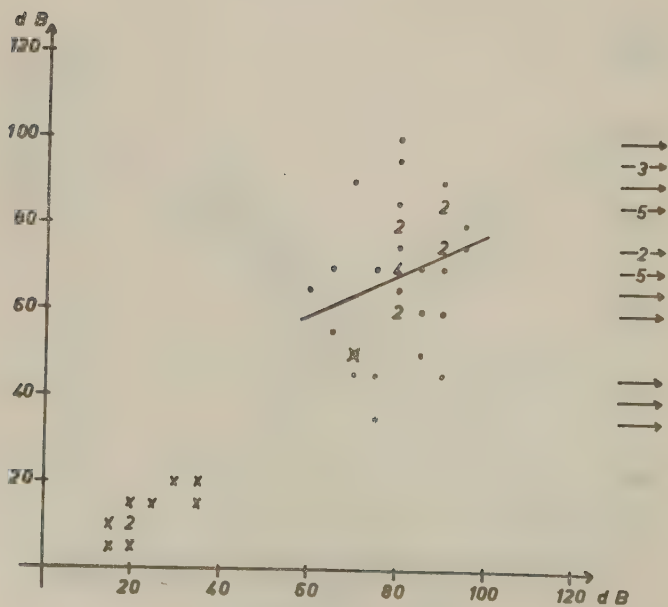


Abb. 9 8000 Hz - Kopfhörer

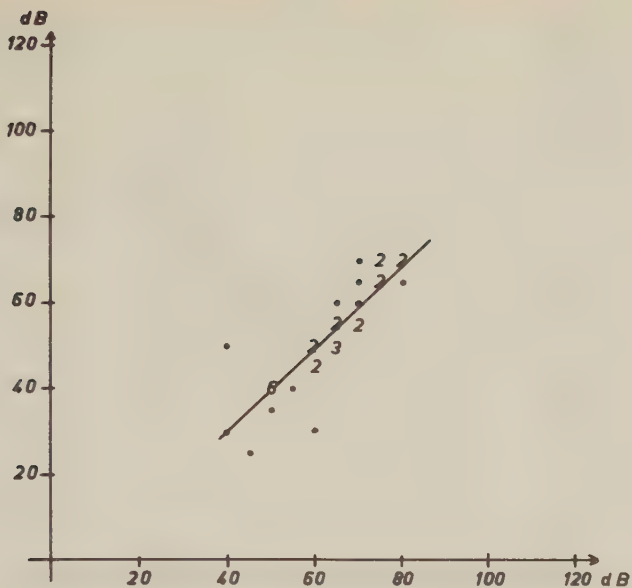


Abb. 10 125 Hz - Freies Schallfeld

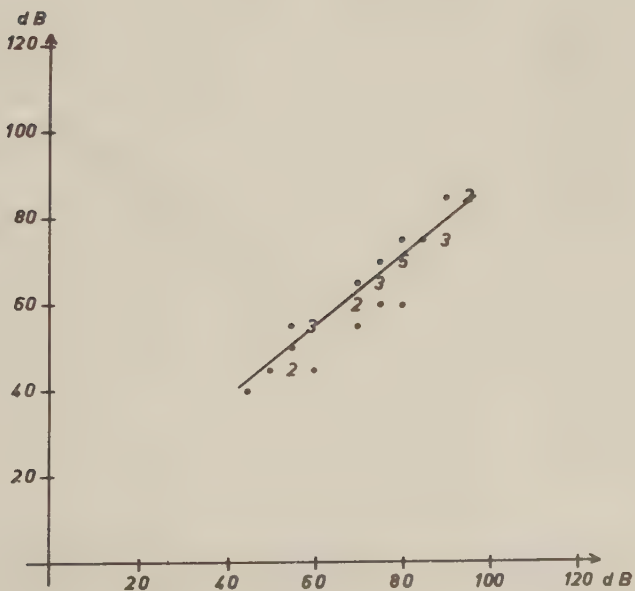


Abb. 11 250 Hz - Freies Schallfeld

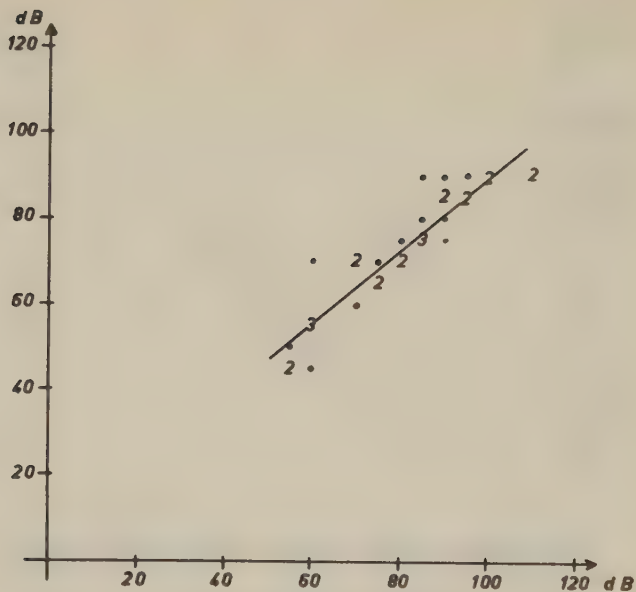


Abb. 12 500 Hz - Freies Schallfeld

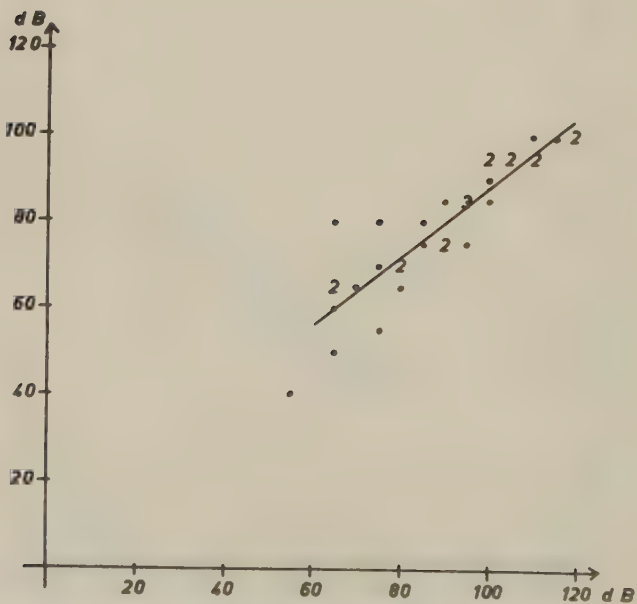


Abb. 13 1000 Hz - Freies Schallfeld

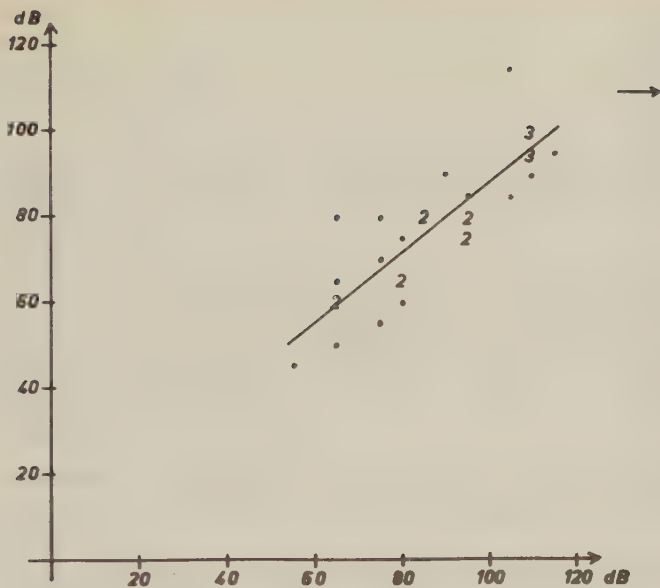


Abb. 14 1500 Hz - Freies Schallfeld

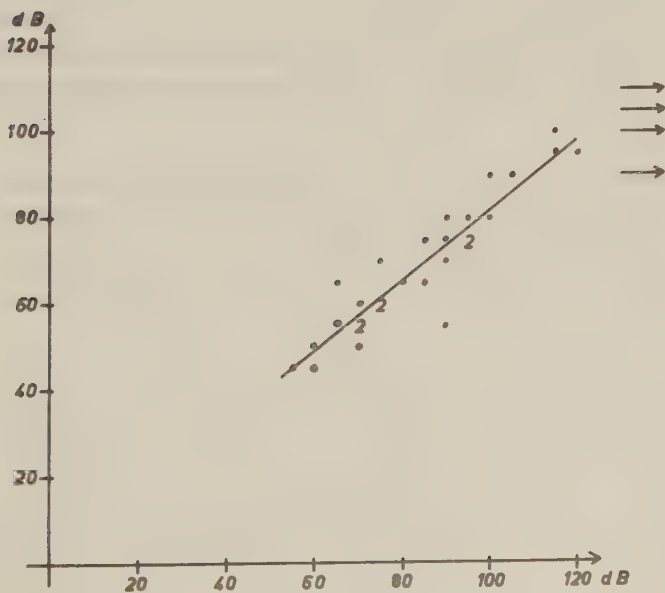


Abb. 15 3000 Hz - Freies Schallfeld

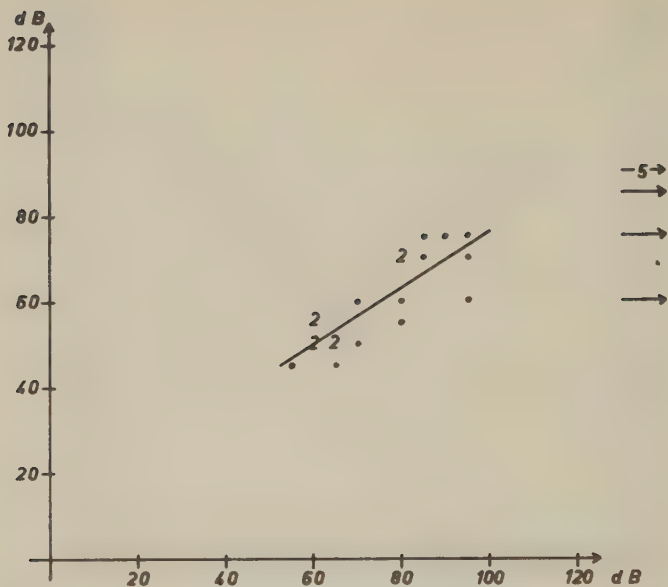


Abb. 16 6000 Hz - Freies Schallfeld

Bei den mit x und den stärker geschriebenen Zahlen in den Abbildungen 2 - 9 und 14 - 16, sowie bei den Pfeilen handelt es sich um Werte von normal Hörenden.

(Im Text wurden diese als rot gezeichnet beschrieben.)

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einem kurzen Überblick über die Entwicklung der verschiedenen Audiometrie-Formen werden Sinuston- und Verbotal-Audiogramme von Kindern miteinander verglichen.

Bei den Kopfhörer-Audiogrammen handelt es sich um 50 Fälle, bei den Audiogrammen im freien Schallfeld um 34. Jedes Ohr der Probanden wurde einmal mit reinen Sinustönen und zum anderen mit frequenzbeschnittenen Logatomen geprüft. Die erhaltenen Audiogramme wurden in den sich entsprechenden Frequenzen miteinander verglichen.

Dabei ergab sich:

1. die Kopfhörer-Audiogramm-Kurven der Verbotal-Audiometrie liegen im Durchschnitt um 10,38 dB Hörverlust niedriger, als die der Sinuston-Audiometrie,
2. die im freien Schallfeld gewonnenen Audiogramm-Kurven der verbotalen Audiometrie liegen im Durchschnitt um 10,84 dB Hörverlust niedriger als die der Sinuston-Audiometrie,
3. daß mit statistischer Auffälligkeit in den Frequenzgruppen 3000, 6000 und 8000 Hertz mehr Werte erhalten werden mit der Verbotal-Audiometrie als bei der Sinuston-Audiometrie. Dieses bedeutet, daß mit frequenzbeschnittenen Logatomen bei mehr Schwerhörigen noch Hörreste erfaßt werden, die mit reinen Sinustönen nicht ermittelt werden können.

LITERATURVERZEICHNIS

1. APAP, C.: La rééducation auditive. Ms. 1965
2. von BEKESY, G.: A new audiometer.
Acta oto-laryng. 35, 411 (1947)
3. BERENDES, J., LINK, R., ZÖLLNER, F.: Hals-Nasen-Ohrenheilkunde.
Bd. 3, T.1, Stuttgart 1965
4. BIESALSKI, P.: Gesichtspunkte und neu entwickelte Verfahren der Audiometrie im Säuglings- und Kindesalter.
Zschr. Laryng. Rhinol. Otol. 43 (1964), 494
5. DEAN, L. W., BUNCH, C. C.: The use of the pitch range audiometer in otology. Laryngoscope (St. Louis) 29 (1919), 453
6. FECHNER, G. T.: Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860
7. FELDMANN, H.: Die geschichtliche Entwicklung der Hörprüfungsmethoden. Stuttgart 1960
8. FELDTKELLER, R., ZWICKER, E.: Das Ohr als Nachrichtenempfänger. Stuttgart 1956
9. FLETCHER, H.: Speech and hearing. New York 1929
10. FLETCHER, H., WEGEL, R. L.: The frequency-sensitivity of normal ears. Phys. Rev. 19 (1922), 553
11. FOWLER, E. P.: Marked deafened areas in normal ears.
Arch. Otolaryng. 8 (1928), 151
12. FOWLER, E. P., WEGEL, R. L.: Presentation of a new instrument for determining the amount and character of auditory sensation.
Trans. Amer. otol. Soc. 16 (1922), 105
13. GÄSSLER, G.: Über die Hörschwelle für Schallereignisse mit verschieden breitem Frequenzspektrum. Acustica 4 Beiht. 1 (1954), 408
14. GEIGY, Documenta: Wissenschaftliche Tabellen.
6. Aufl., Basel 1960
15. GOSPODNETIC, Y.: Enseignement de la langue maternelle aux enfants sourds. Ms. 1964
16. GRIESSMANN, B.: Die exakte Hörprüfung mit Otaudion.
Zschr. Hals-Nas. -Ohrhk. 15 (1926), 333
17. GRIESSMANN, B.: Neue Methoden zur Hörprüfung. Passow-Schaefers Beitr. Hals-Nas. -Ohrhk. (Berlin) 16 (1927), 47
18. GRUBER, J.: Lehrbuch der Ohrenheilkunde. Wien 1888
19. GUBERINA, P.: A propos du sens tractile pur la comprehension de la parole. J. fr. oto-rhino-laryng. 4 (1955), 214

20. GUBERINA, P.: L'audiométrie verbo-tonale.
Rev. laryng. otol. rhinol. 77 (1956), 20
21. GUBERINA, P.: L'audiométrie verbo-tonale et son application.
J. fr. oto-rhino-laryng. 5 (1957), 478
22. GUBERINA, P.: Le principe de l'optimale. Ms. 1963
23. GUBERINA, P.: Verbotonal method and its application to the
rehabilitation of the deaf.
Congress for the Education of Deaf Children, Washington, Juni 1963
24. GUTZMANN, H.: Über Hören und Verstehen.
Zschr. angew. Psychol. 1 (1908), 483
25. HAHLBROCK, K. H.: Sprachaudiometrie. Stuttgart 1957
26. HAHLBROCK, K. H.: Feinere Hörschwellenbestimmungen mit dem
modifizierten BEKESY-Audiometer nach FELDTKELLER und ZWICKER.
Arch. Ohr-Nas. -Kehlk. hk. 173 (1958), 263
27. HAHLBROCK, K. H.: Audiometrie.
Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. Hrsg. BERENDES, J., R. LINK,
F. ZÖLLNER: Bd. 3, T. 1, Stuttgart 1965, 362
28. HARTMANN, A.: Eine neue Methode der Hörprüfung mit Hilfe elektri-
scher Ströme. Arch. Ohrenheilk. 13 (1878), 297
29. KAHLER, O.: Versuch einer Hörbesserung unter Benutzung der Knochen-
leitung. Zschr. Hals-Nas. -Ohr. hk. 27 (1930), 437
30. KAINZ, F.: Psychologie der Sprache. 2. Aufl., Bd. 4, Stuttgart 1954
31. KATZ, G. F.: Über Sprachgehör und Sprachverständnis.
Zschr. Hals-Nas. -Ohr. hk. 25 (1930), 193
32. KINGSBURY, B. A.: A direct comparison of the loudness of pure tons.
Phys. Rev. 29 (1927), 588
33. KOLLER, S.: Statistische Auswertungsmethoden.
Biochemisches Taschenbuch. Hrsg. RAUEN, 2. Aufl., Bd. 2, Berlin 1964
34. LANGENBECK, B.: Leitfaden der praktischen Audiometrie.
Stuttgart 1952
35. LAUX gen. SEWING, K. F.: Untersuchungen über Erholungsvorgänge
nach Schallbelastung. Med. Diss., Freiburg 1959
36. LICHTWITZ, L.: Über die Anwendung des neuen Edison'schen Phono-
graphen als allgemeinen Hörmesser. Arch. Ohr. -Nas. -Kehlkopfhk. 29
(1890), 302
37. MEISTER, F. J.: Akustische Meßtechnik der Gehörprüfung.
Karlsruhe 1954
38. MONTANDON, A.: Funktionsprüfungen des Innenohres. Stuttgart 1960

39. PFANZAGL, J.: Allgemeine Methodenlehre der Statistik.
2. verb. Aufl. Bd. 2, Berlin 1966
40. RICHARDSON, B. W.: Some researches with Prof. HUGHES' new instrument
for the measurement of hearing; the audiometer.
Proc. Soc. Med. (London) 29 (1879), 65
41. RUF, C.: Klinische Untersuchungen über die Festlegung von Hörempfin-
dungsschwellen im absoluten und relativen Maß.
Zschr. Hals-Nas. -Ohr. hk. 27 (1930), 447
42. SCHAEFER, K. L., GRUSCHKE, G.: Über einen neuen elektro-akustischen
Apparat zu Hörschärfenmessung mittels einer kontinuierlichen Ton-
reihe. Passow-Schaefers Beitr. Hals-Nas. -Ohr. hk. 16 (1921), 56
43. SCHUBERT, K.: Auf Wegen zu neuen Hörprüfgeräten.
Arch. Ohr. -Nas. -Kehlk. hk. 155 (1949), 656
44. SCHUBERT, K.: Ein neues Audiometer und die damit erzielten Ergeb-
nisse. Zschr. Laryng. Rhinol. Otol. 30 (1951), 11
45. SCHUBERT, K.: Sprachhörprüfmethoden. Stuttgart 1958
46. SCHWARZ, W.: Physikalische Grundlagen zur elektrischen Tonsirene
Otaudion. Zschr. Hals-Nas. -Ohr. hk. 18 (1927), 436
47. SCHWARZ, W.: Gesichtspunkte für den Bau von Knochentelephonen.
Zschr. Hals-Nas. -Ohr. hk. 27 (1930), 434
48. SCHWARZ, W., TIGLER, H.: Das Otaudion. Ein physikalisches Gerät
zur exakten Gehörschärfemessung.
Passow-Schaefers Beitr. Hals-Nas. -Ohr. hk. 28 (1927), 77
49. SEAHORE, C. E.: An audiometer.
Univ. Iowa, Stud. Psychol. 2 (1899), 158
50. WEGEL, R. L.: The auditory masking of one pure tone by another and
its probable relation to the dynamics of the inner ear.
Phys. Rev. 23 (1924), 266
51. WIEN, M.: Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für Töne
verschiedener Höhe.
Pflügers Arch. Physiol. 97 (1903), 1

Herrn Professor Dr. med. B i e s a l s k i möchte ich an dieser Stelle meinen Dank für die Überlassung des Themas und für seinen wertvollen Rat aussprechen.

Herrn Professor Dr. K l e y danke ich besonders für die Übernahme des Korreferates.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. med. L. H o r b a c h vom Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation für seine Hinweise und die fachliche Beratung der statistischen Auswertungen.

LEBENS LAUF

Am 18. Mai 1939 wurde ich als Sohn des Bundesbahn-Oberamtmanns Karl Fleckenstein und seiner Ehefrau Hermine, geb. Schalber, in Kaiserslautern geboren.

Nach dem Besuch der Volksschule in Wolfstein/Pfalz, dem Naturwissenschaftlichen Gymnasium in Kaiserslautern und dem Gymnasium Am Kurfürstlichen Schloß in Mainz legte ich im Frühjahr 1959 in Mainz die Reifeprüfung ab.

Im Jahre 1959 begann ich an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz das Studium der Medizin. Nach bestandener Naturwissenschaftlicher Vorprüfung im Jahre 1964 legte ich das Medizinische Staatsexamen im Sommer 1967 an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz ab.

